

۱۴۴۰/۱۹۶

سازمهای فولادی

(طراحی به روشهای تنش مجاز و حالت حدی)

دکتر ابوالحسن وفایی

استاد دانشگاه صنعتی شریف

دکتر جانر کیوانی

دانشیار دانشگاه خوارزمی



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه صنعتی شریف



مؤسسه انتشارات علمی
دانشگاه شریف

سازه‌های فولادی

تألیف ابوالحسن وقایی، جعفر کیوانی

طراحی جلد: الهه احمدی می‌نماید

مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف

چاپ اول: ۱۳۹۵

شمارگان: ۱۰۰۰

بها: ۴۰۰۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: گنج شایگان

حق چاپ برای مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف محفوظ است.

ISBN 978-964-208-156-1

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۰۸-۱۵۶-۱

تلفن: ۶۶۰۱۳۱۲۹-۶۱۰۶۰۲-۶۶۱۶۴۰۷۰

دفتر مرکزی: خیابان آزادی- دانشگاه صنعتی شریف

دفتر فروش: میدان انقلاب- خیابان شهید میری جاوید (آردیبهشت)- ساختمان بهمن- پلاک ۸۷، طبقه چهارم- واحد ۴۰۲

پست الکترونیکی: publishing@sharif.edu

تلفن: ۶۶۴۰۵۱۳۳-۶۶۹۶۷۸۹۶

فروش اینترنتی: www.fardabook.com

یادداشت: واژه‌نامه.

موضوع: سازه‌های فولادی.

شناسه افزوده: کیوانی، جعفر.

شناسه افزوده: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی.

رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۴ س ۷/۶۸۴ TA.

رده‌بندی دیویی: ۶۲۴.

شماره کتابشناسی ملی: ۳۰۹۰۷۹۰.

سرشناسه: وقایی، ابوالحسن، ۱۳۲۸.

عنوان و نام‌پیداوار: سازه‌های فولادی / تألیف ابوالحسن وقایی، جعفر کیوانی.

وضعیت ویراست: ویراست ۲.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی شریف، مؤسسه انتشارات علمی، ۱۳۹۴.

مشخصات ظاهری: ۶۶۶ ص، مصور، جدول.

شابک: 978-964-208-156-1

وضعیت فهرست نویسی: فیا.

بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست مطالب

یازده

۳

۳

۵

۶

۸

۱۲

۱۸

۲۰

۲۶

۲۷

۳۰

۳۰

۳۹

۳۹

پیشگفتار

فصل ۱ مقدمه

۱-۱ طراحی سازه

۲-۱ انواع سیستم‌های سازه‌ای

۳-۱ تاریخچه تحولات سازه‌ها

۴-۱ فولاد ساختمانی از دیدگاه کلی

۵-۱ رفتار سازه‌های فولادی

۶-۱ فلسفه طراحی

۷-۱ روش‌های طراحی

۸-۱ ضریب اطمینان

۹-۱ آیین‌نامه‌ها و استانداردها

تمرین

مراجع

فصل ۲ مصالح

۱-۲ مقدمه

۳۹	۲-۲ مشخصات مهم فولاد در طراحی
۴۵	۳-۲ عوامل مؤثر بر خواص مکانیکی فولاد
۴۹	۴-۲ تعیین خواص مکانیکی
۵۰	۵-۲ فولادهای ساختمانی موجود
۵۳	۶-۲ اهمیت انتخاب نوع فولاد
۵۴	۷-۲ انواع نیمرخ‌های ساختمانی
۵۶	مراجع

۶۱	فصل ۱۲ سیستم‌های سازه‌ای و بارگذاری
۶۱	۱-۳ مقدمه
۶۱	۲-۳ بارگذاری
۷۱	۳-۳ انواع ساختمان‌های فولادی
۷۳	۴-۳ اجزای ساختمان
۸۶	۵-۳ محافظت ساختمان‌های فولادی
۸۸	مراجع

۹۳	فصل ۴ عضوهای کششی
۹۳	۱-۴ مقدمه
۹۳	۲-۴ انواع عضوهای کششی
۱۱۷	۳-۴ ملاحظات کلی در طرح عناصر کششی
۱۲۰	۴-۴ تمرکز تنش
۱۲۲	۵-۴ تنش در عضوهای کششی
۱۲۳	۶-۴ تنش مجاز کششی
۱۲۳	۷-۴ تعیین سطح مقطع خالص در عضوهای کششی
۱۳۳	۸-۴ سطح مقطع مؤثر
۱۳۷	۹-۴ طراحی قطعات کششی
۱۴۵	۱۰-۴ وصله عضوهای کششی
۱۴۷	۱۱-۴ طراحی براساس خستگی

۱۲-۴ طراحی گامبه‌گام عضوهای کششی، طبق مقررات ملی ساختمان ایران

تمرین

مراجع

فصل ۵ عضوهای فشاری

۱-۵ مقدمه

۲-۵ ستون‌های تحت اثر بار محوری و بار بحرانی اولر

۳-۵ طول بحرانی و اثر قطعات فشاری

۴-۵ محاسبه ضرایب فرمول اولر

۵-۵ تنش در قطعات فشاری

۶-۵ روابط عملی در طرز و محاسبه قطعات فشاری

۷-۵ مقاومت ستون‌ها بر اساس تنش مجاز براساس آیین‌نامه فولاد آمریکا ...

۸-۵ مقاومت ستون‌ها به روش حالت حدی (LRFD) براساس آیین‌نامه فولاد آمریکا ...

۹-۵ مقاطع مورد استفاده در قطعات فشاری

۱۰-۵ طرح ستون‌ها و قطعات فشاری

۱۱-۵ طراحی ستون‌های بر ساخته از یک نیمرخ

۱۲-۵ قطعات فشاری مرکب

۱۳-۵ صفحه زیرستون برای ستون‌های با بار متمرکز

تمرین

مراجع

فصل ۶ عضوهای خمشی

۱-۶ مقدمه

۲-۶ ملاحظات طراحی

۳-۶ طرح خمشی تیرها

۴-۶ تنش مجاز خمشی

۵-۶ مقاطع فشرده و غیرفشرده

۶-۶ مهاربندی جانبی تیرها

۲۹۲	۶-۷ تنش مجاز خمشی براساس روش تنش مجاز در آیین نامه فولاد ایران
۲۹۹	۶-۸ تنش مجاز خمشی براساس روش حالت حدی از آیین نامه فولاد ایران
۳۳۰	۶-۹ تنش مجاز خمشی حول محور ضعیف بر مبنای روش تنش مجاز
۳۳۱	۶-۱۰ مقاومت خمشی مقاطع I شکل و ناودانی حول محور ضعیف بر مبنای ...
۳۳۲	۶-۱۱ تنش مجاز خمشی در مقطع قوطی، مستطیلی و دایره‌ای (مقاطع جداره‌ای) ...
۳۳۳	۶-۱۲ تنش مجاز خمشی در مقطع قوطی، مستطیلی و دایره‌ای (مقاطع جداره‌ای) ...
۳۳۷	۶-۱۳ طرح تیرهای پیوسته
۳۴۳	۶-۱۴ سوراخ در تیرها
۳۴۵	۶-۱۵ برش در تیرها
۳۵۶	۶-۱۶ تغییرشکل در تیرها
۳۶۴	۶-۱۷ کماتش جان و کمانش تیرهای جان
۳۶۷	۶-۱۸ مرکز برش
۳۷۷	۶-۱۹ طرح لایه‌ها
۳۸۶	تمرین
۳۹۰	مراجع

۳۹۹	فصل ۷ خمشی و نیروی محوری (تیرستون‌ها)
۳۹۹	۷-۱ مقدمه
۴۰۱	۷-۲ معادله دیفرانسیل خمشی و نیروی محوری
۴۰۳	۷-۳ اثر P یا بزرگسازگی گشتاور
۴۰۶	۷-۴ بزرگسازگی گشتاور عضوها با گشتاورهای انتهایی و بنون جابه‌جایی گره‌ها
۴۰۷	۷-۵ بزرگسازگی گشتاور عضوها با انتقال جانبی
۴۰۹	۷-۶ محاسبات تنشی و تنش مجاز براساس مقررات ملی ساختمان ایران
۴۱۴	۷-۷ طرح تیرستون‌ها به روش تنش مجاز از مقررات ملی ساختمان ایران
۴۱۵	۷-۸ طرح تیرستون‌ها به روش حالت حدی از مقررات ملی ساختمان (مبحث دهم)
۴۴۰	۷-۹ طول مؤثر ستون‌ها در قاب‌های ساختمانی
۴۴۸	تمرین
۴۵۰	مراجع

فصل ۸ تیرورق‌ها

۴۵۷

۱-۸ مقدمه

۴۵۷

۲-۸ تعیین ابعاد ورق جان در تیرورق‌ها به روش تنش مجاز

۴۵۸

۳-۸ تعیین ابعاد ورق جان در تیرورق‌ها به روش حالت حدی (LRFD)

۴۶۲

۴-۸ تعیین ابعاد بال تیرورق

۴۶۵

۵-۸ سخت‌کننده‌های میانی

۴۶۸

۶-۸ سخت‌کننده‌های فشاری

۴۷۲

۷-۸ اتصالات در تیرورق‌ها

۴۷۴

مراجع

۴۸۸

فصل ۹ اتصالات

۴۹۵

۱-۹ مقدمه

۴۹۵

۲-۹ اتصالات پیچ و پرچ

۴۹۷

۳-۹ اتصال با خار مغزی

۵۱۳

۴-۹ اتصالات جوشی

۵۱۷

۵-۹ اتصالات با بارهای خارج از مرکز

۵۲۶

۶-۹ اتصالات برشی در قاب‌های ساختمانی (اتصالات ساده)

۵۳۷

۷-۹ اتصالات مقاوم در برابر خمش (اتصالات صلب)

۵۵۰

تمرین

۵۶۱

مراجع

۵۶۳

فصل ۱۰ کمانش ورق‌ها

۵۷۳

مراجع

۵۸۳

پیوست

۵۸۵

مراجع فارسی

۶۲۷

واژه‌نامه انگلیسی - فارسی

۶۲۹

واژه‌نامه فارسی - انگلیسی

۶۳۹

فهرست راهنما

۶۴۹

پیشگفتار

طراحی و ساختن سازه‌ها قدمتی برابر عمر بشر بر روی کره زمین دارد. سازه‌های اولیه در نهایت سادگی بوده‌اند، اما به تدریج به پیچیدگی آنها افزوده شده است. طرح سازه‌ها در طول تاریخ به عواملی مانند فرهنگ و تمدن، ویژگی‌های مصالح در دسترس، فنون و ابزارهای اجرایی، قدرت سازندگی و امکانات موجود برای تحقق بخشیدن به حس ابتکار و خلاقیت مهندسان طراح وابسته بوده است. از قرن هفدهم میلادی، کاربرد دانش ریاضی در طراحی سازه‌ها و توسعه دانش جدیدی به نام «مکانیک سازه‌ها» موجب افزایش دقت و اطمینان در احداث ساختمان‌ها و بالا رفتن شهامت مهندسان در طراحی سازه‌های بزرگ و پرظهور شد. در نیمه دوم قرن بیستم با پیشرفت روزافزون صنعت دیجیتال و ظهور و گسترش رایانه‌های پرسرعت، توسعه دانش فناوری اطلاعات، روش‌های تحلیل و طراحی سازه‌ها بهبود یافته و سرعت مناسب برای سازه‌های افزایش چشمگیری داشته است.

ابداع فولاد و توسعه پروفیل‌های فولادی در قرن نوزدهم منشأ تحولی بزرگ در دانش و صنعت ساختمان‌سازی در جهان شد. ویژگی‌های ممتاز فولاد نظیر مقاومت بالا، خواص یکنواخت در فشار و کشش، بی‌وسنگی مواد، دوام، شکل‌پذیری، قابلیت مقاوم‌سازی و سادگی شرایط ساخت و نصب نه تنها موجب اقبال گسترده سازندگان و مهندسان به ساخت سازه‌های فولادی شد، بلکه زمینه ساخت ساختمان‌های بلند و بزرگ را نیز فراهم آورد.

معیارهای اصلی طراحی سازه‌ها سه ویژگی مهم مقاومت، سختی و پایداری است. اگرچه این معیارها در اغلب کشورهای جهان برای اعضای مختلف سازه و در شرایط

متفاوت بارگذاری در قالب ضوابط، مقررات و آیین‌نامه‌ها به صورت کمی درآمده، رشد دانش طراحی و شکوفایی ادبیات علمی در این زمینه در گرو تألیف کتاب‌های حاصل از پژوهش‌ها و مطالعات عمیق و گسترده همراه با تجارب آزمایشگاهی و کارگاهی است.

متون متعددی به زبان‌های فارسی و انگلیسی درخصوص طراحی سازه‌های فولادی در اختیار دانشجویان و مهندسان ایرانی قرار دارد ولی به نظر مؤلفان، مجموعه‌ای که دو روش تنش مجاز و ضریب بار و مقاومت را با هم مقایسه کرده باشد، در زبان فارسی کمتر دیده شده است.

با استناد به تجارب علمی و عملی، بسیاری از مهندسان با تجسم و تفکر روش تنش مجاز مبتنی بر پیشینهٔ حرفه‌ای‌شان ویژگی‌های روش ضریب بار و مقاومت را بهتر درک می‌کنند و می‌توانند با اعتماد این روش را انتخاب کنند. دلایل اصلی تدوین کتاب حاضر عبارت‌اند از:

۱. اغلب کتاب‌های در دسترس، اساس فلسفه طراحی به روش تنش مجاز، که مبتنی بر عملکرد ارتجاعی سازه است، تدوین شده‌اند در حالی که امروزه دیدگاه حاکم بر محافل علمی و فنی فلسفهٔ حالت حدی است.

۲. کتاب‌های معدودی که براساس فلسفهٔ حالت حدی به روش ضریب بار و مقاومت تدوین و انتشار یافته، عمدتاً ترجمهٔ کتاب‌های خارجی است و برای ایران که خود دارای آیین‌نامه طراحی به روش حالت حدی است، کافی و قابل اطمینان نیست.

۳. تجربهٔ مؤلفان در تدریس درس طراحی سازه‌های فولادی در سال‌های متمادی حاکی از آن است که دانشجویان ویژگی‌های دو روش تنش مجاز و حالت حدی را زمانی به خوبی درک می‌کنند و به خاطر می‌سپارند که در حل مسائل، هر دو روش را به‌طور یکجا به کار ببرند و آنها را با هم مقایسه کنند.

با توجه به دلایل ذکرشده، کتاب حاضر با ویرایش و تکمیل کتاب سازه‌های فولادی، که قبلاً توسط مؤلف اول این کتاب بر اساس روش تنش مجاز تألیف و منتشر شده بود، تدوین و انتشار می‌یابد.

مباحث این کتاب در ۱۰ فصل به شرح زیر سازمان‌دهی شده است:

در فصل اول مقدمه‌ای دربارهٔ فلسفه طراحی سازه و روش‌های آن ارائه شده و سپس به بیان تاریخچهٔ تحولات سازه‌ها و رفتار سازه‌های فولادی با اشاره به آیین‌نامه‌ها و استانداردها پرداخته شده است.

در فصل دوم اهمیت مصالح و مشخصات فولاد و عوامل تأثیرگذار بر خواص مکانیکی آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

در فصل سوم سیستم‌های سازه‌ای، و بارگذاری و ترکیب بارها در دو حالت طراحی به روش تنش مجاز و بار نهایی معرفی شده است.

در فصل چهارم دربارهٔ عضوهای کششی و کاربرد آنها و محاسبهٔ تنش در این اعضا بحث شده است.

در فصل پنجم عضوهای فشاری و آثار ناشی از کمانش در این اعضا بحث و بررسی شده است.

در فصل ششم در مورد عضوهای خمشی و مقاطع فشرده و غیرفشرده، تنش مجاز خمشی و همچنین طرح تیرهای پهنه و تعیین مرکز برش بحث شده است.

در فصل هفتم در مورد ترکیب خمش و نیروی محوری و نیز بزرگ‌سازی گشتاور عضوها با گشتاورهای انتهایی یا انتقال بانی بحث شده است.

در فصل هشتم مطالبی در خصوص تیرهای و دیگر موارد مربوط به طراحی سخت‌کننده‌های میانی و فشاری و همچنین اتصالات در نیروی با آورده شده است.

در فصل نهم دربارهٔ اتصالات و انواع آن در بارهای فولادی و مسائل مرتبط با آن بحث شده است. در فصل دهم به کمانش ورق‌ها و مقاومت پس از کمانش ورق‌های مسطح اشاره شده است. در انتهای هر فصل با توجه به کاربرد رایانه در طراحی سازه‌های فولادی، تمرین‌هایی برای دانشجویان آشنا به روش‌های جدید در نظر گرفته شده است. کتاب در نگاه جدیدی که ارائه شده، مسائل را حل کنند.

در پایان شایسته است از نقش بی‌بدیل سرکارخانم مهندس طیبه گلی که از آثار فعالیت این مجموعه با مؤلفان همکاری مؤثری داشته‌اند، قدردانی نماییم و همچنین از مساعی ارزندهٔ سرکارخانم مهندس ندا فرهودی، سرکار خانم آیدا متحدین و آقای مهندس محمود رضائی هفتادری در بازبینی مطالب کتاب، به‌ویژه همکاری‌شان در حل مثال‌های کتاب به‌روش حالت حدی صمیمانه تشکر می‌کنیم و همکاری آنها را در تدوین مطالب به‌شکل نوین و تنظیم شکل‌ها و نمودارها ارج می‌نهیم.

همچنین از همکاری آقای پیمان فرگاهی به‌عنوان طراح و گرافیک کتاب تشکر و قدردانی می‌کنیم و ضمن قدردانی از مسئولان مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف،

آقایان محمدمهدی روحانی مشهدی مدیر عامل محترم مؤسسه و مهندس علی کافی، از زحمات ارزنده خانم اکرم سعادت‌تی که در آماده‌سازی این کتاب برای انتشار از هیچ کوششی دریغ ننمودند، و سرکار خانم الهه احمدی میرقائد جهت ارائه طرح روی جلد و همکاری‌های گرافیکی سپاسگزاری می‌کنیم.

از همکاران گرامی و دانشجویان عزیز تقاضا می‌شود چنانچه در مرور مطالب کتاب با هرگونه خطا یا کاستی مواجه شدند، با اطلاع مراتب از طریق نشانی انتشارات یا نشانی‌های الکترونیک مؤلفان: ahv@vafai.info یا jkeyvani@khu.ac.ir برای تصحیح یا تکمیل در چاپ‌های بعدی ما را مرهون لطف خویش قرار دهند.

دکتر ابوالحسن وفایی

دکتر جعفر کیوانی